

**ANALISA KEDIP TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA
LISTRIK 20 KV AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG PEDAN
1 KLATEN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan Teknik
Elektro Fakultas Teknik**

Oleh :

VENNA ATHYNA RAHMATIKA IKSAN

D 400 120 043

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
TAHUN 2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA KEDIP TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 20 KV
AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG PEDAN 1 KLATEN**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

VENNA ATHYNA RAHMATIKA IKSAN

D 400 120 043

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Jatmiko, M.T.

NIK. 622

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA KEDIP TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 20 KV
AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG PEDAN 1 KLATEN**




OLEH

VENNA ATHYNA RAHMATIKA IKSAN



D 400 120 043

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 1 November 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- | | |
|---|--|
| 1. Ir. Jatmiko
(Ketua Dewan Penguji) | () |
| 2. Umar, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji) | () |
| 3. Agus Supardi, S.T., M.T.
(Anggota II Dewan Penguji) | () |

Dekan,



Ir. Sri Sumariono, M.T., Ph.D
NIK. 682

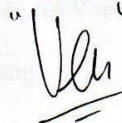
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 17 Oktober 2016

Penulis



VENNA ATHYNA RAHMATIKA IKSAN

D 400 120 043

ANALISA KEDIP TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK 20 KV AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG PEDAN 1 KLATEN

Abstrak

PT. PLN (Persero) Rayon Pedan adalah perusahaan listrik yang bergerak dalam bidang pemeliharaan dan pendistribusian sistem tenaga listrik 20 kV di area Pedan, Klaten. PT. PLN (Persero) Rayon Pedan mendapatkan suplai tenaga listrik dari transformator 150/20 kV yang berada di GI/GITET Pedan. Pada sistem distribusi ini sering kali ditemukan gangguan listrik yang salah satunya disebabkan oleh arus hubung singkat. Arus hubung singkat pada sistem distribusi ini terjadi pada waktu yang singkat dan mengakibatkan tegangan nominal turun sementara yang disebut kedip tegangan. Gangguan hubung singkat yang biasanya terjadi pada sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Untuk mengetahui nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat ini diperlukan analisa perhitungan arus gangguan hubung singkat dan perhitungan kedip tegangan pada titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100%. Penyulang yang digunakan untuk perhitungan dan analisa adalah penyulang PEDAN 1. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah $9635,253 \angle 0,809^\circ$ V sebesar 48,176%; $7002,022 \angle 0,914^\circ$ V sebesar 35,010%; $4202,695 \angle 1,762^\circ$ V sebesar 21,014%; dan $1372,800 \angle 5,679^\circ$ V sebesar 6,864%. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan 2 fasa pada titik 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah $21561,542 \angle 0,001^\circ$ V sebesar 107,808%; $19674,550 \angle 0,0001^\circ$ V sebesar 98,373%; $18076,717 \angle 0,0003^\circ$ V sebesar 90,384%; dan $17016,682 \angle 0,0003^\circ$ sebesar 85,383%. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan 3 fasa pada titik 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah $3609,572 \angle -66,724^\circ$ V sebesar 18,048%; $8100,636 \angle -71,503^\circ$ V sebesar 40,503%; $12980,559 \angle -70,193^\circ$ V sebesar 64,903%; dan $17915,240 \angle -69,466^\circ$ V sebesar 89,576%.

Kata Kunci : Hubung Singkat, Kedip Tegangan, Penyulang

Abstract

PT. PLN (Persero) Rayon PEDAN is the power company that is engaged in the maintenance and distribution of electric power systems 20 kV in Pedan, Klaten. PT. PLN (Persero) Rayon PEDAN get electric power supply from 150/20 kV transformer which located in the GI / GITET PEDAN. In distribution system of electrical supplies often found a power interruptions that caused by short circuit. Short-circuit in the distribution system have occurred in a short time or expense resulting discontinuous nominal voltage drops while the so-called blink voltage. Short circuit which usually occur in the distribution system is short circuit to ground 1 phase, 2-phase and 3-phase. To determine the value of the pulsating voltage due to short circuit current calculation is necessary analysis and calculation of short circuit voltage blink per feeder length by 25%, 50%, 75% and 100%. Feeders are used for calculations and analysis is PEDAN feeder 1. Voltage Dip and percentage of voltage dip from nominal voltage during one phase to ground short circuit per long feeders 25%, 50%, 75% and 100% are $9635,253 \angle 0,809^\circ$ V in 48,176%; $7002,022 \angle 0,914^\circ$ V in 35,010%; $4202,695 \angle 1,762^\circ$ V in 21,014%; and $1372,800 \angle 5,679^\circ$ V in 6,864%. Voltage Dips and percentage of voltage dip from nominal voltage during 2 phases short-circuit per long feeders 25%,

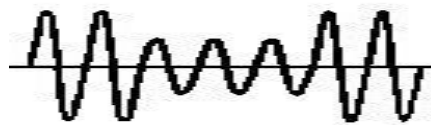
50%, 75% and 100% are $21561,542 \pm 0,001^\circ$ V in 107,808%; $19674,550 \pm 0,0001^\circ$ V in 98,373%; $18076,717 \pm 0,0003^\circ$ V in 90,383%; and $17016,682 \pm 0,0003^\circ$ in 85,083%. Voltage Dip and percentage of voltage dip from nominal voltage during 3-phase short-circuit per long feeders 25%, 50%, 75% and 100% are $3609,572 \pm 66,724^\circ$ V in 18.048%; $8100,636 \pm 71,503^\circ$ V in 40.503%; $12980,559 \pm 70,193^\circ$ V in 64.903%; and $17915,240 \pm 69,466^\circ$ V in 89.576%.

Keywords: Short-circuit, Voltage Dip, Feeder

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk perumahan, komersial, dan industri terus meningkat setiap tahunnya. Suplai daya dari sumber ke beban tersebut harus dikirim dengan suatu sistem pelayanan dan kualitas yang baik. Sistem distribusi dibedakan menjadi jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan dari trafo ke gardu induk (GI), sedangkan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan dari trafo distribusi ke konsumen atau beban. Jaringan distribusi primer lebih dikenal dengan jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV, dan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan tegangan rendah (JTR) 220/380 V.

Sistem distribusi adalah sistem yang paling banyak mengalami gangguan baik pada jaringan tegangan menengah maupun jaringan tegangan rendah. Salah satu gangguan pada sistem distribusi yaitu kedip tegangan. Menurut standar IEEE 1159-1995, kedip tegangan adalah penurunan nilai tegangan rms antara 0,1 pu sampai 0,9 pu selama durasi 0,5 siklus hingga 1 menit.



Gambar 1. Kedip Tegangan

Penyebab terjadinya kedip tegangan diantaranya sebagai berikut :

- Proses *starting* motor induksi berdaya besar. Motor induksi umumnya pada saat *starting* mengkonsumsi 5 sampai 6 kali arus ratingnya.
- Gangguan hubung singkat pada saluran distribusi. Gangguan hubung singkat ini dapat terjadi karena adanya gangguan satu fasa ke tanah, gangguan fasa ke fasa dan gangguan tiga fasa.

Penyulang PEDAN 1 merupakan salah satu penyulang yang disuplai oleh transformator tenaga 150/20 kV yang terdapat pada GI/GITET Pedan. Kedip tegangan dapat terjadi karena adanya hubung singkat pada penyulang. Hubung singkat yang sering terjadi pada penyulang adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa, dan 3 fasa. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada umumnya terjadi karena sambaran petir, cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM, dan kontak hewan seperti burung. Gangguan hubung singkat 2 fasa dapat disebabkan oleh cuaca yang kurang baik dan cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM. Sedangkan untuk gangguan 3 fasa dapat disebabkan

oleh peristiwa switching atau trip circuit breaker (PMT) 3 fasa, yang juga dapat menyebabkan kedip tegangan pada penyulang lain dari gardu induk yang sama. Kedip tegangan yang terjadi pada penyulang dihitung berdasarkan titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

1.1. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Berapa nilai arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa?
- b. Berapa nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat pada penyulang PEDAN 1?

1.2. Batasan Masalah

Agar dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat sesuai sasaran dan tujuan yang diharapkan, maka diadakan pembatasan masalah. Adapun batasan-batasan masalah tersebut diantaranya :

- a. Penentuan lokasi penelitian pada jaringan distribusi 20 KV area Pedan, Klaten.
- b. Perhitungan arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang PEDAN 1.
- c. Perhitungan nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat pada penyulang PEDAN 1.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

- a. Mengetahui nilai arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang PEDAN 1.
- b. Mengetahui nilai kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat pada penyulang PEDAN 1.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapat pada penulisan Tugas Akhir ini diantaranya :

- a. Menambah pengetahuan dibidang teknik elektro khususnya pada analisa kedip tegangan akibat hubung singkat.
- b. Peneliti dapat menghitung dan menganalisa besar arus hubung singkat akibat gangguan 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa.
- c. Peneliti dapat menghitung dan menganalisa besar kedip tegangan yang disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat.

2. METODE PENELITIAN

Persiapan yang dilakukan pada proses penyusunan tugas akhir ini diantaranya :

- a. Studi literatur

Studi literatur merupakan pencarian referensi teori yang relevan sesuai dengan permasalahan yang ditemukan. Referensi yang digunakan dapat berupa buku, skripsi, jurnal, maupun artikel di internet yang dapat digunakan sebagai pedoman pembuatan laporan penelitian.

- b. Pengumpulan data

Data yang dibutuhkan untuk penyusunan tugas akhir ini diantaranya data transformator tenaga 150/20 kV, data hubung singkat di bus 150 kV, serta data saluran distribusi 20 kV penyulang PEDAN 1.

c. Analisis data

Analisis data merupakan proses mengubah data hasil penelitian menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengambil kesimpulan dalam suatu penelitian. Proses analisis data tersebut dilakukan dengan perhitungan secara manual untuk memperoleh hasil akhir dari suatu permasalahan.

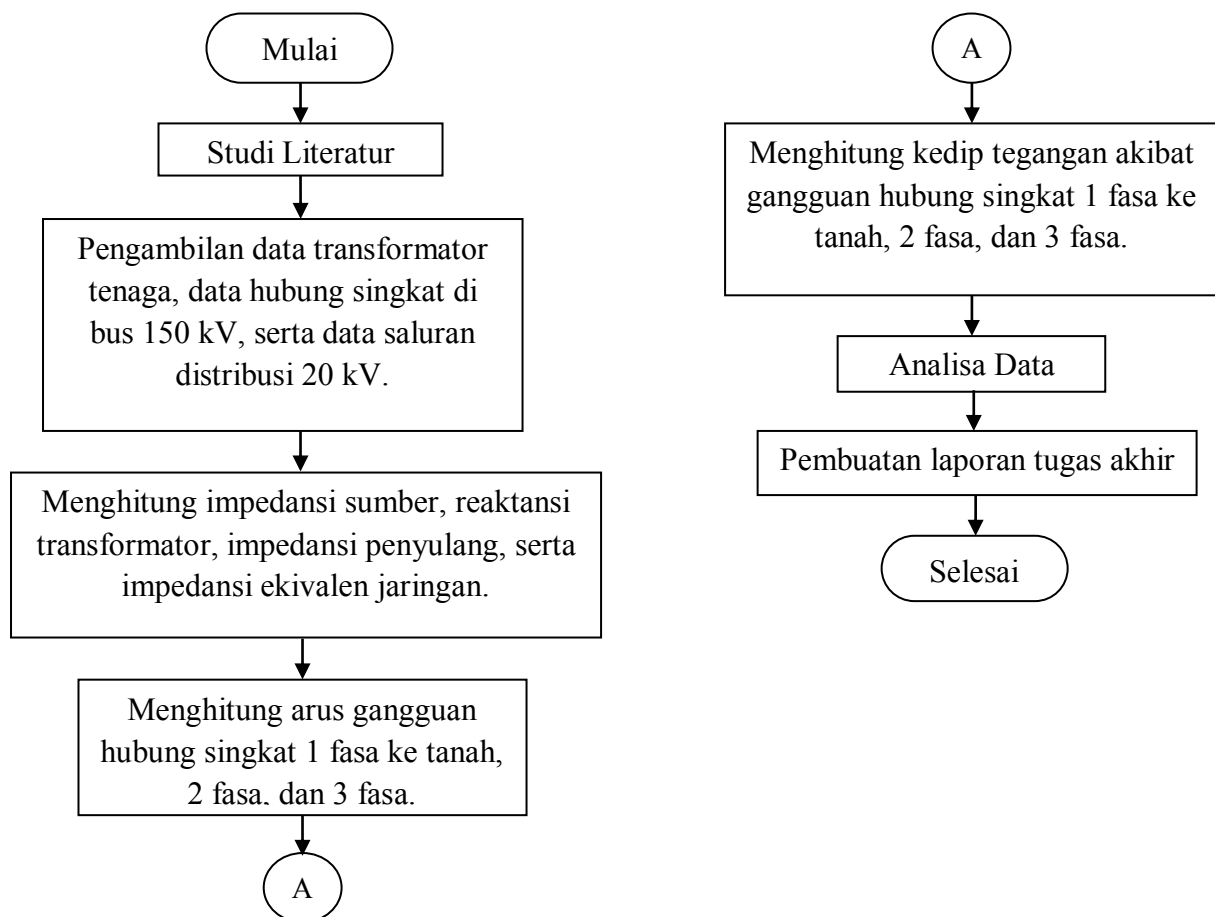
d. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan dengan menyimpulkan data yang diperoleh dari hasil penelitian.

2.1. Waktu dan Tempat

Lokasi penelitian tugas akhir ini untuk pengambilan data-data yang diperlukan adalah di GI/GITET Pedan Klaten dan kantor PT. PLN (Persero) Rayon Pedan Klaten. Rencana waktu pengolahan dan analisa data, serta pembuatan laporan tugas akhir dapat diselesaikan dalam waktu 4 bulan.

2.2. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart penelitian

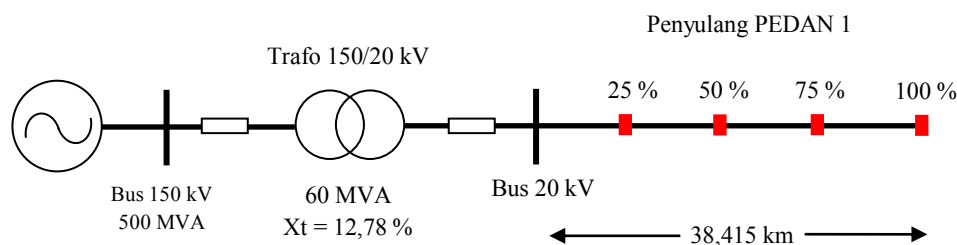
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gardu induk Pedan memiliki satu buah transformator 150/20 kV berkapasitas 60 MVA yang melayani 14 penyulang, salah satunya penyulang PEDAN 1. Berikut ini merupakan data transformator tenaga pada gardu induk Pedan :

Merk = UNINDO
Daya = 60 MVA
Tegangan = 150/20 kV
Impedansi = 12,78 %
Tahanan = 0,5 Ohm
Hubungan belitan = YNyn0 (d11)

3.1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada jaringan distribusi ada tiga, yaitu gangguan hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung berdasarkan panjang penyulang yang diasumsikan terjadi di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang seperti pada gambar.



Gambar 3. Penyulang PEDAN 1

3.1.1. Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi sekunder (20 kV) maka harus dihitung lebih dahulu impedansi sumber di sisi primer (150 kV). Data hubung singkat di bus 150 kV sebesar 500 MVA. Maka impedansi sumber (X_s) adalah :

$$\begin{aligned} X_s(\text{sisi } 150 \text{ kV}) &= \frac{kV (\text{sisi primer trafo})^2}{MVA (\text{data hubung singkat di bus primer})} \\ &= \frac{150^2}{500} = 45 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui impedansi sumber di sisi 20 kV maka X_s dikonversi dari 150 kV ke 20 kV. Maka impedansi sumber di bus sisi 20 kV adalah :

$$\begin{aligned} X_s(\text{sisi } 20 \text{ kV}) &= \frac{kV (\text{sisi sekunder trafo})^2}{kV (\text{sisi primer trafo})^2} \times X_s(\text{sisi } 150 \text{ kV}) \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 45 = 0,8 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

3.1.2. Perhitungan Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi trafo tenaga 150/20 kV di Gardu Induk Pedan adalah 12,78 %. Nilai reaktansi transformator dapat diketahui jika nilai reaktansi urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol telah didapat. Untuk mengetahui nilai reaktansi urutan positif, reaktansi urutan negatif, dan reaktansi urutan nol dalam ohm maka hitung dahulu besar ohm pada 100 % nya. Besar nilai ohm pada 100 % adalah :

$$X_t \text{ (pada 100 \%)} = \frac{kV(\text{sisi primer})^2}{MVA \text{ trafo}} = \frac{20^2}{60} = 6,67 \text{ Ohm}$$

Nilai reaktansi trafo tenaga :

- a. Reaktansi urutan positif dan negatif

Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} X_t &= \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)} \\ &= 12,78 \times 6,67 \\ &= 0,852 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

- b. Reaktansi urutan nol

Trafo daya pada Gardu Induk Pedan yang mensuplai penyulang PEDAN 1 memiliki hubungan Ynyn0 yang tidak memiliki belitan delta maka nilai X_{t0} berkisar antara 9 sampai 14. Pada perhitungan ini nilai $X_{t0} = 10$. Untuk mencari nilai X_{t0} dapat dihitung dengan rumus :

$$X_{t0} = 10 \times X_{t1} = 10 \times 0,852 = 8,52 \text{ Ohm}$$

3.1.3. Perhitungan Impedansi Penyulang

Berdasarkan data yang diperoleh, penyulang PEDAN 1 menggunakan 3 jenis penghantar sebagai berikut :

Tabel 1. Reaktansi penghantar AAAC tegangan 20 kV (SPLN 64 : 1985)

Jenis Penghantar	Impedansi Urutan Positif (ohm/km)	Impedansi Urutan Negatif (Ohm/km)	Panjang Penghantar (km)
AAAC 3×70 mm	0,4608 + j0,3572	0,6088 + j1,6447	3,66
AAAC 3×150 mm	0,2162 + j0,3305	0,3631 + j1,6180	11,1
AAAC 3×240 mm	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6034	23,655
Total			38,415

Besarnya nilai impedansi suatu penyulang adalah $Z = (R + jX)$. Impedansi penyulang urutan positif, negatif dan nol dapat dicari menggunakan persamaan :

$$Z_{1 \text{ penyulang}} = Z_{2 \text{ penyulang}} = n \times L \times (Z_1 \text{ atau } Z_2) (\Omega/km)$$

$$Z_{0 \text{ penyulang}} = n \times L \times Z_0 (\Omega/km)$$

Keterangan :

n = Lokasi gangguan (%)

L = Panjang penyulang (km)

Z = Impedansi urutan penghantar (Ohm/km)

Tabel 2. Impedansi penyulang urutan positif, negatif, dan nol

Titik (%)	$Z_1 = Z_2$ (Ohm)	Z_0 (Ohm)
25	$0,25 \times 38,415 \times (0,2162 + j0,3305) = 2,076 + j3,174$	$0,25 \times 38,415 \times (0,3631 + j1,6180) = 3,487 + j15,539$
50	$0,50 \times 38,415 \times (0,1344 + j0,3158) = 2,582 + j6,066$	$0,50 \times 38,415 \times (0,2824 + j1,6034) = 5,424 + j30,797$
75	$0,75 \times 38,415 \times (0,1344 + j0,3158) = 3,872 + j9,099$	$0,75 \times 38,415 \times (0,2824 + j1,6034) = 8,136 + j46,196$
100	$1,00 \times 38,415 \times (0,1344 + j0,3158) = 5,163 + j12,132$	$1,00 \times 38,415 \times (0,2824 + j1,6034) = 10,848 + j61,595$

3.1.4. Perhitungan Impedansi Ekivalen Jaringan

Impedansi ekivalen jaringan urutan positif, negatif, dan nol dapat dicari menggunakan persamaan :

$$Z_{1eki} = Z_{2eki} = Z_{S1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang}$$

$$Z_{0eki} = Z_{t0} + 3RN + Z_{0penyulang}$$

Keterangan :

Z_{S1} = Impedansi sumber sisi 20 kV (Ohm)

Z_t = Impedansi urutan trafo tenaga (Ohm)

RN = Tahanan tanah trafo tenaga (Ohm)

$Z_{penyulang}$ = Impedansi urutan penyulang (Ohm)

Tabel 3. Impedansi ekivalen jaringan urutan positif, negatif, dan nol

Titik (%)	$Z_{1eki} = Z_{2eki}$ (Ohm)	Z_{0eki} (Ohm)
25	$j0,8 + j0,852 + (2,076 + j3,174) = 2,076 + j4,826$	$j8,52 + (3 \times 0,5) + (3,487 + j15,539) = 4,987 + j24,059$
50	$j0,8 + j0,852 + (2,582 + j6,066) = 2,582 + j7,718$	$j8,52 + (3 \times 0,5) + (5,424 + j30,797) = 6,924 + j39,317$
75	$j0,8 + j0,852 + (3,872 + j9,099) = 3,872 + j10,751$	$j8,52 + (3 \times 0,5) + (8,136 + j46,196) = 9,636 + j54,716$
100	$j0,8 + j0,852 + (5,163 + j12,132) = 5,163 + j13,012$	$j8,52 + (3 \times 0,5) + (10,848 + j61,595) = 11,848 + j71,613$

	j13,784	12,348 + j70,115
--	---------	------------------

3.1.5. Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Arus hubung singkat 1 fasa dapat dicari dengan persamaan:

$$I_{L-G} = \frac{3 \times V}{Z_{1\ eki} + Z_{2\ eki} + Z_{0\ eki}}$$

Arus hubung singkat 1 fasa di titik gangguan 25 % adalah :

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(2,076 + j4,826) + (4,987 + j24,059)} = 991,789 \angle (-74,832)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 1 fasa di titik gangguan 50 % adalah :

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(2,582 + j7,718) + (6,924 + j39,317)} = 617,801 \angle (-77,550)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 1 fasa di titik gangguan 75 % adalah :

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(3,872 + j10,751) + (9,636 + j54,716)} = 443,124 \angle (-77,155)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 1 fasa di titik gangguan 100 % adalah :

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(5,163 + j13,784) + (12,348 + j70,115)} = 345,415 \angle (-76,912)^\circ \text{ A}$$

3.1.6. Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Arus hubung singkat 2 fasa dapat dicari dengan persamaan:

$$I_{L-L} = \frac{V}{Z_{1\ eki} + Z_{2\ eki}} = \frac{20000}{2(Z_{1\ eki})}$$

Arus hubung singkat 2 fasa di titik gangguan 25% adalah :

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(2,076 + j4,826)} = 1903,466 \angle (-66,724)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 2 fasa di titik gangguan 50 % adalah :

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(2,582 + j7,718)} = 1228,736 \angle (-71,503)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 2 fasa di titik gangguan 75 % adalah :

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(3,872 + j10,751)} = 875,120 \angle (-70,193)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 2 fasa di titik gangguan 100 % adalah :

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(5,163 + j13,784)} = 679,384 \angle (-69,466)^\circ \text{ A}$$

3.1.7. Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Arus hubung singkat 3 fasa dapat dicari dengan persamaan :

$$I_{3\phi} = \frac{V}{Z_{1\text{ eki}}} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{Z_{1\text{ eki}}}$$

Arus hubung singkat 3 fasa di titik gangguan 25 % adalah :

$$I_{3\phi} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{2,076 + j4,826} = 2197,933 \angle (-66,724)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 3 fasa di titik gangguan 50 % adalah :

$$I_{3\phi} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{2,582 + j7,718} = 1418,823 \angle (-71,503)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 3 fasa di titik gangguan 75 % adalah :

$$I_{3\phi} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{3,872 + j10,751} = 1010,502 \angle (-77,993)^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat 3 fasa di titik gangguan 100 % adalah :

$$I_{3\phi} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{5,163 + j13,784} = 784,485 \angle (-69,466)^\circ \text{ A}$$

Tabel 4. Arus hubung singkat

Titik (%)	Jarak (km)	Arus hubung singkat (Ampere)		
		1 fasa ke tanah	2 fasa	3 fasa
25	9,604	991,789 \angle (-74,832) $^\circ$	1903,466 \angle (-66,724) $^\circ$	2197,933 \angle (-66,724) $^\circ$
50	19,208	617,801 \angle (-77,550) $^\circ$	1228,736 \angle (-71,503) $^\circ$	1418,823 \angle (-71,503) $^\circ$
75	28,811	443,124 \angle (-77,155) $^\circ$	875,120 \angle (-70,193) $^\circ$	1010,502 \angle (-70,193) $^\circ$
100	38,415	345,415 \angle (-76,912) $^\circ$	679,384 \angle (-69,466) $^\circ$	784,485 \angle (-69,466) $^\circ$

3.2. Perhitungan Kedip Tegangan

3.2.1. Saat Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa

- a. Tegangan urutan positif

$$V_{1\text{ riel}} = V_{\text{bus}} - (I_{L-G}/3) \cdot n \cdot Z_1 \cdot \cos \theta$$

$$V_{1\text{ imj}} = 0 - (I_{L-G}/3) \cdot n \cdot Z_1 \cdot \sin \theta$$

Keterangan:

V_{bus} = Tegangan di bus 20 kV (V)

Z_1 = Impedansi penyulang urutan positif (Ohm)

θ = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

b. Tegangan urutan negatif

$$V_{2\ riel} = -(I_{L-G}/3) \cdot n \cdot Z_2 \cdot \cos \theta$$

$$V_{2\ imj} = -(I_{L-G}/3) \cdot n \cdot Z_2 \cdot \sin \theta$$

Keterangan :

Z_2 = Impedansi penyulang urutan negatif (Ohm)

θ = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

c. Tegangan urutan nol

$$V_{0\ riel} = 0 - (I_{L-G}/3) \cdot n \cdot Z_0 \cdot \cos \theta$$

$$V_{0\ imj} = 0 - (I_{L-G}/3) \cdot n \cdot Z_0 \cdot \sin \theta$$

Keterangan :

Z_0 = Impedansi penyulang urutan nol (Ohm)

θ = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

Kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah didapat dengan persamaan :

$$V_{dip} = \sqrt{(\Delta V_{riel})^2 + (\Delta V_{imj})^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{\Delta V_{imj}}{\Delta V_{riel}} \right)$$

Keterangan :

$$\Delta V_{riel} = V_{1\ riel} + V_{2\ riel} + V_{0\ riel}$$

$$\Delta V_{imj} = V_{1\ imj} + V_{2\ imj} + V_{0\ imj}$$

Berdasarkan persamaan diatas maka kedip tegangan di titik gangguan 25 % adalah :

1. Tegangan urutan positif

$$\begin{aligned} V_{1\ riel} &= (20000/\sqrt{3}) - ((991,789/3) \times 25\% \times 3,793 \times \cos(-74,832 + 56,809)) \\ &= 11248,146\ V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1\ imj} &= 0 - ((991,789/3) \times 25\% \times 3,793 \times \sin(-74,832 + 56,809)) \\ &= 96,993\ V \end{aligned}$$

2. Tegangan urutan negatif

$$V_{2\ riel} = -((991,789/3) \times 25\% \times 3,793 \times \cos(-74,832 + 56,809)) = -298,859\ V$$

$$V_{2\ imj} = -((991,789/3) \times 25\% \times 3,793 \times \sin(-74,832 + 56,809)) = 96,993\ V$$

3. Tegangan urutan nol

$$V_{0\ riel} = 0 - ((991,789/3) \times 25\% \times 15,925 \times \cos(-74,832 + 77,352)) = -1314,996\ V$$

$$V_{0\ imj} = 0 - ((991,789/3) \times 25\% \times 15,925 \times \sin(-74,832 + 77,352)) = -57,870\ V$$

Kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah di titik gangguan 25% adalah :

$$\Delta V_{riel} = 11248,146 - 298,859 - 1314,996 = 9634,291\ V$$

$$\Delta V_{imj} = 96,993 + 96,993 - 57,870 = 136,116\ V$$

$$V_{dip1\phi} = \sqrt{9634,291^2 + 136,116^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{136,116}{9634,291} \right)$$

$$= 9635,253 \angle 0,809^\circ V$$

Dari hasil perhitungan diatas besar kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% adalah :

Tabel 5. Kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Titik (%)	Kedip Tegangan (Volt)	Persentase kedip tegangan
25	9635,253 \angle 0,809°	48,176%
50	7002,022 \angle 0,914°	35,010%
75	4202,695 \angle 1,762°	21,014%
100	1372,800 \angle 5,679°	6,864%

3.2.2. Saat Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

a. Tegangan urutan saat gangguan hubung singkat 2 fasa

1. Tegangan urutan positif

$$V_{1\ riel} = V_{bus} - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_1 \cdot \cos \theta$$

$$V_{1\ imj} = 0 - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_2 \cdot \sin \theta$$

$$V_1 = \sqrt{V_{1\ riel}^2 + V_{1\ imj}^2} \angle \tan^{-1}(V_{1\ imj}/V_{1\ riel})$$

Keterangan :

V_{bus} = Tegangan pada sistem 20 kV (V) = 20000 V

Z_1 = Impedansi penyulang urutan positif (Ohm)

θ = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

2. Tegangan urutan negatif

$$V_{2\ riel} = V_{bus} - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_2 \cdot \cos \theta$$

$$V_{2\ imj} = V_{bus} - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_2 \cdot \sin \theta$$

$$V_2 = \sqrt{V_{2\ riel}^2 + V_{2\ imj}^2} \angle \tan^{-1}(V_{2\ imj}/V_{2\ riel})$$

Keterangan :

V_{bus} = Tegangan pada sistem 20 kV (V) = 20000 V

Z_2 = Impedansi penyulang urutan negatif (Ohm)

θ = Penjumlahan sudut arus dan impedansi

b. Tegangan tiap fasa saat terjadi gangguan

1. Fasa R

$$V_R = \sqrt{V_{R\ riel}^2 + V_{R\ imj}^2} \angle \tan^{-1}(V_{R\ imj}/V_{R\ riel})$$

Dengan,

$$V_{R\ riel} = V_{1\ riel} + V_{2\ riel}$$

$$V_{R\ imj} = V_{1\ imj} + V_{2\ imj}$$

2. Fasa S

$$V_S = \sqrt{V_{S\ riel}^2 + V_{S\ imj}^2} \angle \tan^{-1}(V_{S\ imj}/V_{S\ riel})$$

Dengan,

$$V_{S\ riel} = V_1 \cos(240 + \theta) + V_2 \cos(120 + \theta)$$

$$V_{S\ imj} = V_1 \sin(240 + \theta) + V_2 \sin(120 + \theta)$$

3. Fasa T

$$V_T = \sqrt{V_{T\ riel}^2 + V_{T\ imj}^2} \angle \tan^{-1}(V_{T\ imj}/V_{T\ riel})$$

Dengan,

$$V_{T\ riel} = V_1 \cos(120 + \theta) + V_2 \cos(240 + \theta)$$

$$V_{T\ imj} = V_1 \sin(120 + \theta) + V_2 \sin(240 + \theta)$$

Nilai kedip tegangan saat terjadi gangguan hubung singkat 2 fasa pada fasa S dan fasa T adalah :

$$V_{dip2\phi} = \sqrt{V_{S\ riel}^2 + V_{T\ riel}^2 + V_{S\ imj}^2 + V_{T\ imj}^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{V_{S\ imj} - V_{T\ imj}}{V_{S\ riel} - V_{T\ riel}} \right)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka kedip tegangan di titik gangguan 25% adalah :

1. Tegangan urutan positif

$$\begin{aligned} V_{1\ riel} &= (20000/\sqrt{3}) - (1903,466 \times 25\% \times 3,793 \times \cos(-66,724 + 56,813)) \\ &= 9768,980 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{1\ imj} = 0 - (1903,466 \times 25\% \times 3,793 \times \sin(-66,724 + 56,813)) = 310,667 \text{ V}$$

$$V_1 = \sqrt{9768,980^2 + 310,667^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{310,667}{9768,980} \right) = 9773,919 \angle 1,822^\circ \text{ V}$$

2. Tegangan urutan negatif

$$\begin{aligned} V_{2\ riel} &= (20000/\sqrt{3}) - (1903,466 \times 25\% \times 3,793 \times \cos(-66,724 + 56,813)) \\ &= 9768,980 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{2\ imj} &= (20000/\sqrt{3}) - (1903,466 \times 25\% \times 3,793 \times \sin(-66,724 + 56,813)) \\ &= 11857,672 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_2 = \sqrt{9768,980^2 + 11857,672^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{11857,672}{9768,980} \right) = 15363,507 \angle 50,517^\circ V$$

3. Tegangan di fasa R

$$V_{R\ riel} = 9768,980 + 9768,980 = 19537,960 V$$

$$V_{R\ imj} = 310,667 + 11857,672 = 12168,339 V$$

$$V_R = \sqrt{19537,960^2 + 12168,339^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{12168,339}{19537,960} \right) = 23017,393 \angle 31,915^\circ V$$

4. Tegangan di fasa S

$$V_{S\ riel} = 9773,919 \cos(240 + 1,822) + 15363,507 \cos(120 + 50,517) = -19768,923 V$$

$$V_{S\ imj} = 9773,919 \sin(240 + 1,822) + 15363,507 \sin(120 + 50,517) = -6084,347 V$$

$$V_S = \sqrt{(-19768,923)^2 + (-6084,347)^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{-6084,347}{-19768,923} \right) = 20684,042 \angle 17,107^\circ V$$

5. Tegangan di fasa T

$$V_{T\ riel} = 9773,919 \cos(120 + 1,822) + 15363,507 \cos(240 + 50,517) = 231,071 V$$

$$V_{T\ imj} = 9773,919 \sin(120 + 1,822) + 15363,507 \sin(240 + 50,517) = -6084,169 V$$

$$V_T = \sqrt{(231,071)^2 + (-6084,169)^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{-6084,169}{231,071} \right) = 6088,555 \angle -87,825^\circ V$$

Kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 2 fasa pada fasa S dan fasa T di titik gangguan 25% adalah :

$$V_{dip_{2\phi}} = \sqrt{(-19768,923)^2 + (231,071)^2 + (-6084,347)^2 + (-6084,169)^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{-6084,347 - (-6084,169)}{-19768,923 - (-231,071)} \right)$$

$$= 21561,542 \angle -0,001^\circ V$$

Dari hasil perhitungan diatas besar kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 2 fasa pada fasa S dan T di titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% adalah :

Tabel 6. Kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 2 fasa

Titik (%)	Kedip tegangan (Volt)	Persentase kedip tegangan
25	21561,542 \angle 0,001 $^\circ$	107,808%
50	19674,550 \angle 0,0001 $^\circ$	98,373%
75	18076,717 \angle 0,0003 $^\circ$	90,384%
100	17016,682 \angle 0,0003 $^\circ$	85,083%

3.2.3. Saat Gangguan hubung Singkat 3 Fasa

Untuk mencari nilai kedip tegangan saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dapat menggunakan persamaan :

$$Vdip_{3\phi} = \sqrt{(n \cdot Z_1)^2} \times I_{3\phi}$$

Keterangan :

n = Lokasi gangguan (%)

Z_1 = Impedansi penyulang urutan positif (Ohm)

$I_{3\phi}$ = Arus hubung singkat tiga fasa (A)

Berdasarkan persamaan diatas maka kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 3 fasa di titik gangguan 25% adalah :

$$\begin{aligned} Vdip_{3\phi} &= \sqrt{(25\% \times 2,076)^2 + (25\% \times 3,174)^2} \times (2197,933 \angle -66,724^\circ) \times \sqrt{3} \\ &= 3609,572 \angle -66,724^\circ V \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas besar kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 3 fasa di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% adalah :

Tabel 7. Kedip tegangan saat gangguan hubung singkat 3 fasa

Titik (%)	Kedip tegangan (Volt)	Persentase kedip tegangan
25	3609,572 \angle -66,724°	18,048%
50	8100,636 \angle -71,503°	40,503%
75	12980,559 \angle -70,193°	64,903%
100	17915,240 \angle -69,466°	89,576%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah per panjang penyulang 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah 991,789 \angle -74,832° A; 617,801 \angle -77,550° A; 443,124 \angle -77,155° A; dan 345,415 \angle -76,912° A. Untuk gangguan 2 fasa adalah 1903,466 \angle -66,724° A; 1228,736 \angle -71,503° A; 875,120 \angle -70,193° A; dan 679,384 \angle -69,466° A. Untuk gangguan 3 fasa adalah 2197,933 \angle -66,724° A; 1418,823 \angle -71,503° A; 1010,502 \angle -70,193° A; dan 784,485 \angle -69,466°.
- Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah per panjang penyulang 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah 9635,253 \angle 0,809° V sebesar 48,176%; 7002,022 \angle 0,914° V sebesar 35,010%; 4202,695 \angle 1,762° V sebesar 21,014%; dan 1372,800 \angle 5,679° V sebesar 6,864%.
- Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan 2 fasa per panjang penyulang 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah

21561,542 \angle 0,001° V sebesar 107,808%; 19674,550 \angle 0,0001° V sebesar 98,373%; 18076,717 \angle 0,0003° V sebesar 90,384%; dan 17016,682 \angle 0,0003° sebesar 85,083%.

- d. Kedip tegangan dan persentase kedip tegangan dari tegangan normal saat terjadi gangguan 3 fasa per panjang penyulang 25%, 50%, 75%, dan 100% secara berurutan adalah 3609,572 \angle -66,724° V sebesar 18,048%; 8100,636 \angle -71,503° V sebesar 40,503%; 12980,559 \angle -70,193° V sebesar 64,903%; dan 17915,240 \angle -69,466° V sebesar 89,576%.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan ridlo-Nya serta shalawat kepada nabi Muhammad SAW karena penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih pada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini yaitu :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa, dan nasihat.
2. Kedua adik yang selalu memotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Jatmiko, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Umar, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Teman-teman CPUC dan teman-teman jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta angkatan 2012.
6. Pihak-pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Irfan. (2009). *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*. Skripsi Universitas Indonesia Teknik Elektro. Depok.
- Dugan, Roger C. et.al (2002). *Electrical Power Systems Quality* (2nd ed.). New York : McGraw-Hill.
- Pabla, A. S. & Hadi, Abdul. (1991). *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Pawawoi, Andi. *Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sags) Akibat Pengasutan Motor Induksi dengan Berbagai Metode Pengasutan Studi Kasus di PT. Abaisiat Raya*. Jurnal.
- Putra, Nandha Pamadya., Purnomo, Hery., & Utomo, Teguh. *Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Incoming dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade*. Jurnal Universitas Brawijaya Teknik Elektro. Malang.
- Stevenson, William D & Idris, Kamal. (1994). *Analisis Sistem Tenaga Listrik* (4th ed.). Jakarta : Erlangga